

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С ВЫДЕРЖКОЙ В ИНТЕРВАЛЕ СУБКРИТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУР ДЛЯ РЕССОРНО-ПРУЖИННЫХ СТАЛЕЙ

Сазонов Ю.Б., Комиссаров А.А., Смирнова Ю.В., Ожерелков Д.Ю., Шашина И.И.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»), e-mail: komissarov@misis.ru.

Статья посвящена одному из возможных вариантов решения проблемы повышения механических свойств сталей, а именно разработке режимов термомеханической обработки в сочетании с изотермической выдержкой в интервале субкритических температур. Объектом исследования являлись рессорно-пружинные стали 65 и 55ХГР. Важное значение представляет анализ влияния параметров термомеханической обработки на формирование комплекса свойств в ходе изотермической выдержки в области субкритических температур. Показано, что данный вид термообработки позволяет повысить механические свойства рессорно-пружинной стали. Полученные результаты имеют большое практическое значение и могут найти применение в машиностроительном производстве при изготовлении деталей из рессорно-пружинных сталей, поскольку позволяют значительно повысить их надежность и значения механических свойств, создавая возможность увеличения срока службы изделий из этого типа материала.

Ключевые слова: сталь, термомеханическая обработка, механические свойства.

TECHNOLOGICAL ADVANCES IN THERMOMECHANICAL PROCESSING OF SPRING STEELS WITH TREATMENT IN THE SUBCRITICAL TEMPERATURE RANGE

Sazonov U.B., Komissarov A.A., Smirnova J.V., Ozherelkov D.Y., Shashina I.I.

National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS") Moscow, Russian Federation, e-mail: komissarov@misis.ru.

The article is devoted to one of the possible solutions to the problem of improving the mechanical properties of steels, namely the development of modes of mechanical treatment in combination with isothermal holding in the range of subcritical temperatures. The object of the study were spring steel 65 and 55KhGR. Important moment is the analysis of the dependence of the parameters of thermomechanical treatment on the formation of a complex of properties during isothermal holding in the subcritical temperatures. It is shown that this type of heat treatment can improve the mechanical properties of spring steel. The results are of great practical value and can be used in the manufacture of mechanical production of parts made of spring steel, as can significantly improve the reliability and mechanical properties, creating the possibility of increasing the service life of products of this type of material.

Key words: steel, thermomechanical treatment, mechanical properties.

Введение

Перспективный способ повышения надёжности стали – формирование мелкозернистой и ультрамелкозернистой структуры. Способ предварительной термомеханической обработки (ПТМО), разработанный М.Л. Бернштейном, заключается в холодной пластической деформации и последующем длительном предкристаллизационном отжиге ниже температуры рекристаллизации [1]. При нагреве под закалку скоростной электронагрев (100 °/сек) сохраняет структуру полигонизации в аустените.

Необходимая для этого большая скорость нагрева представляет значительную технологическую сложность. Трудно также избежать частичной рекристаллизации. Отжиг длительный, а повышение механических свойств невысокое [2].

Цель настоящей работы – упрощение подобного способа термомеханической обработки.

Методика проведения исследований

Исследование проводили на промышленных рессорно-пружинных сталях 65 и 55ХГР. Их химический состав приведен в таблице 1, соответствует ГОСТ 14959-79 [3].

Таблица 1 – Химический состав исследуемых сталей

Сталь	Содержание элементов, % (масс)								
	C	Mn	Si	Cr	B	P	S	Cu	Ni
65	0,63	0,64	0,20	0,22	-	0,01	0,01	0,15	0,22
55ХГР	0,54	0,95	0,20	1,10	0,002	0,015	0,01	0,12	0,21

Исходные отожженные образцы размерами 150x70x10 мм на прокатном стане ДУО 150 подвергали холодной пластической деформации со степенями обжатия 30, 40 и 50%.

Температуры критических точек определялись на высокотемпературном дилатометре DIL 402 С фирмы Netzsch на деформированных образцах длиной 25 мм и диаметром 6 мм. Скорость нагрева и охлаждения в аргоне 3 °С/мин.

Дальнейшая термическая обработка в аргоне проводилась в электрической муфельной печи F 46110 фирмы Barnstead International при изотермических выдержках в интервале температур ($A_{c1} - 10$ °С) ± 2 °С.

После термической обработки из заготовок изготавливались образцы для проведения ударных испытаний (тип 1, ГОСТ 9454-78), испытаний на растяжение (тип 7, ГОСТ 1497-84, диаметр 6 мм), измерения твердости по Роквеллу (ГОСТ 9013-59) [4].

Ударную вязкость KCU определяли при комнатной температуре с использованием маятникового копра Instron SI-1M, 5 образцов «на точку». Испытания на растяжение со скоростью деформирования 5 мм/мин проводили на разрывной машине Instron 150LX, 3 образца «на точку». Твердость по Роквеллу HRC измеряли с помощью цифрового твердомера MascoMet 5101T фирмы Vuehler при нагрузке 150 кг, по 20-ти уколам на образец.

Результаты исследований и их обсуждение

Температуры критических точек. Примерный вид дилатометрических кривых на примере стали 55ХГР представлены на рисунке 1, критические температуры – в таблице 2.

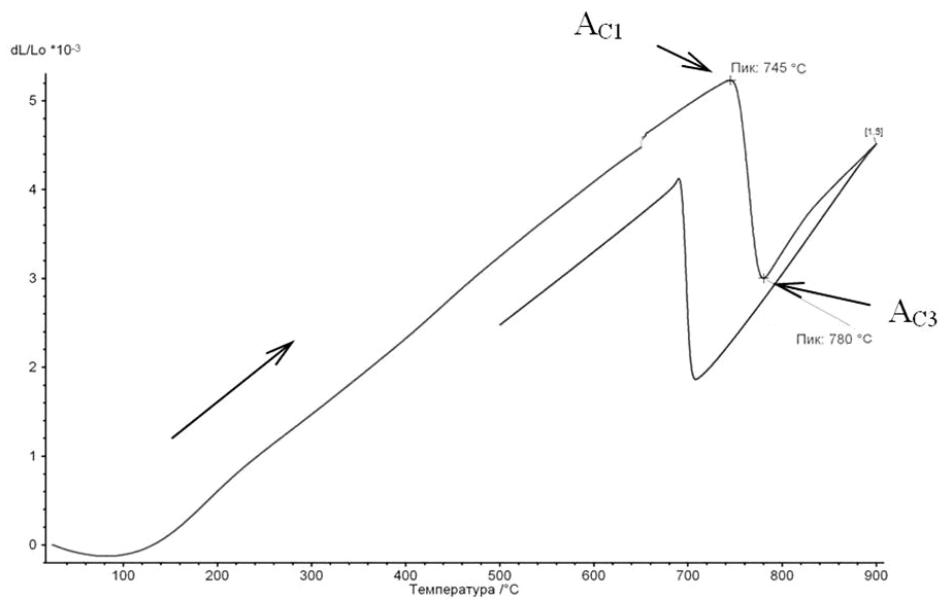


Рис. 1. Дилатометрические кривые стали 55XГР при нагреве $3^\circ\text{C}/\text{мин}$.

Таблица 2 – Температуры фазовых превращений

Стали	A_{c1}	A_{c3}
	$^\circ\text{C}$	
65	730	755
55XГР	745	780

Термомеханический режим обработки. Исходя из полученных данных, назначен термомеханический цикл обработки (рисунок 2) и составлены температурные режимы [5].

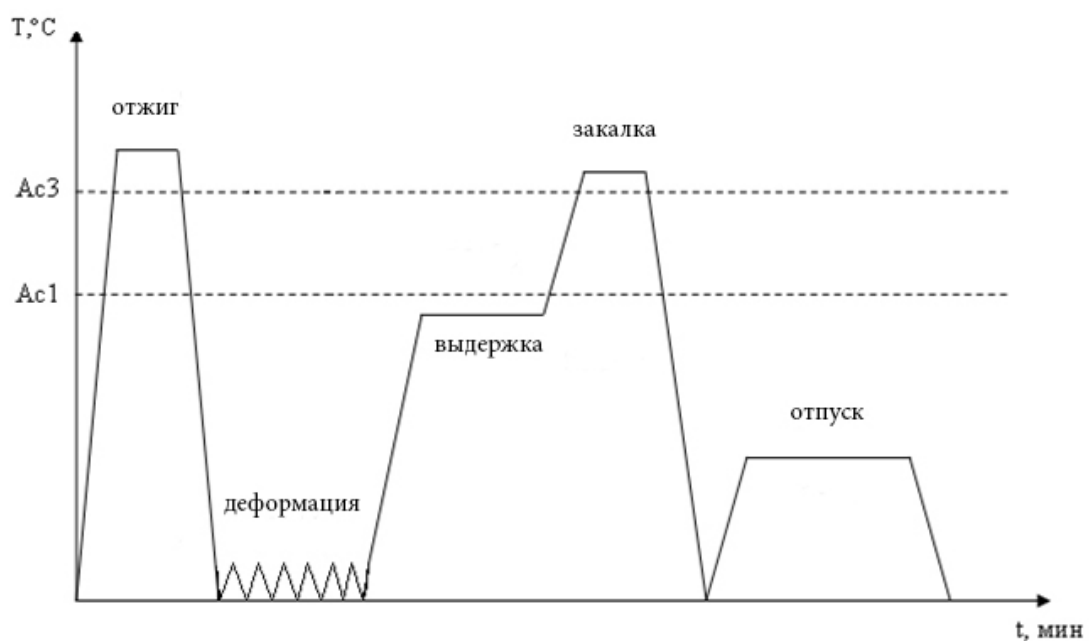


Рис. 2. Схема предлагаемой термомеханической обработки.

Перед проведением термомеханической обработки сталь подвергалась отжигу для получения исходного состояния.

Цикл обработки заключался в предварительной холодной пластической деформации с различными степенями обжатия, выдержкой в области субкритических температур (температура выдержки выбиралась как $A_{c1} - (5 - 15 \text{ }^\circ\text{C})$ и $A_{c1} - (20 - 30 \text{ }^\circ\text{C})$), при последующем медленном нагреве и стандартной закалке и отпуске. После такой обработки образцы исследуемых сталей приобретают более высокие прочностные характеристики при повышенных пластических характеристиках и ударной вязкости (таблица 3) по сравнению с результатами обработки по известному способу (таблица 4) [1].

Таблица 3 – Механические свойства стали 65 после обработки по предлагаемому способу (приведены средние результаты измерений, во всех вариантах обработки была дана закалка $800 \text{ }^\circ\text{C}$ и отпуск при $450 \text{ }^\circ\text{C}$, 2 часа)

№	Операция*	Граничные значения параметров обработки	Механические свойства					
			σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²	HRC
1	Степень холодной пластической деформации	30%	1240	1080	10	42	55	40
		40%	1300	1120	14	45	60	42
		50%	1350	1180	10	35	55	45
2	Субкритическая температура выдержки	$A_{c1} - (5 - 15 \text{ }^\circ\text{C})$	1300	1110	14	46	55	45
		$A_{c1} - (20 - 30 \text{ }^\circ\text{C})$	1220	1050	10	35	48	42
3	Время выдержки при СКТ	1,5 часа	1280	1100	12	40	48	44
		2,0 часа	1300	1110	14	46	55	45
		2,5 часа	1350	1180	12	40	50	40

*граничные значения параметров обработки варьировались при остальных оптимальных параметрах.

Таблица 4 – Механические свойства стали 65, обработанной по известному способу (предрекристаллизационная температура для стали $65-450 \text{ }^\circ\text{C}$)

№	Операция	Граничные значения параметров обработки	Механические свойства*					
			σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²	HRC

1	Пластическая деформация	30%	1050	840	8	25	32	40
		40%	1080	860	7	26	30	41
		50%	1085	890	7	23	25	40

* испытания проводились после обработки при оптимальных параметрах.

По результатам механических испытаний для стали 55ХГР были выбраны оптимальные параметры и также проведены сравнительные исследования (таблица 5).

Таблица 5 – Сводная таблица механических свойств стали 55ХГР

№	Операция	Механические свойства*				
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	КСУ, Дж/см ²	НRC
1	После предлагаемого способа	1320	1405	11	60	44
2	После известного способа	1035	1242	6	58	41

* испытания проводились после обработки при оптимальных параметрах.

Приведенные результаты показывают, что применение предлагаемого способа термомеханической обработки – пластическая деформация на 50% с последующей выдержкой при субкритических температурах A_{c1} - ($5 \div 15$ °C) в течение в 2,5 часов и стандартной термической обработкой – по сравнению с известным способом [1] для обработки исследуемых сталей приводит к значительному повышению механических свойств, не только по прочностным, но и по пластическим характеристикам и значениям ударной вязкости.

Вывод

Термомеханическая обработка по схеме «холодная деформация – субкритический отжиг» позволила получить повышение механических свойств по сравнению с известным способом обработки сталей. Благодаря тому что предлагаемый способ не требует электронагрева при обработке стали, технология обработки значительно упрощается.

Исследование выполнено в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Государственное соглашение № 14.А18.21.2108 по обобщенной теме «Современные методы исследования микроструктуры и механических свойств перспективных материалов») на оборудовании Центра коллективного пользования «Диагностика структуры и свойств наноматериалов» НИУ «БелГУ».

Список литературы

1. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов. – М. : Металлургия, 1968. – Т. 1-2. – С. 187-207, 627-642.
2. ГОСТ 14959-79 Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали.
3. ГОСТ 9013-59 Метод измерения твердости по Роквеллу.
4. Сазонов Ю.Б., Комиссаров А.А. и др. Разработка режимов термической обработки для получения мелкозернистой структуры // МиТОМ. – 2009. – № 5. – С. 24-32.
5. Machado I.F. Technological advances in steels heat treatment // Journal of Materials Processing Technology 172. – 2006. – P. 169–173.

Рецензенты

Салищев А.Г., д.т.н., профессор, руководитель лаборатории объемных наноструктурных материалов ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный институт», г. Белгород.

Иванов О.Н., д.ф.-м.н., руководитель Центра коллективного пользования научным оборудованием «Диагностика структуры и свойств наноматериалов», ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный институт», г. Белгород.